

Análise da precipitação e eventos extremos em região semiárida: o caso da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará - Brasil

Bárbara Maria de Almeida Maia
Mestranda em Geografia - UECE
bharbhara_10@yahoo.com.br

Flávio Rodrigues do Nascimento
Doutor em Geografia - UFF
flaviorn@yahoo.com.br

Francisco Sérgio de Almeida Pinheiro
Doutor em Geografia - UECE
sergiopinhheiro@yahoo.com.br

Resumo

O conhecimento das precipitações pluviométricas é indispensável para melhor compreensão do ciclo natural da água. Os eventos naturais extremos que mais repercutem nas atividades humanas no nosso país são de natureza climática. Algumas cidades brasileiras têm apresentado situações críticas, relacionadas às inundações, durante a ocorrência de episódios pluviais concentrados. Esse estudo analisa a variabilidade da chuva na sub-bacia do Rio Figueiredo, com foco nos eventos extremos de precipitação, no período compreendido entre 1979 e 2014. Foram utilizados dados diários de precipitação de 5 estações, obtidos a partir da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo organizados e tratados para a determinação do tempo de retorno - TR, para se detectar a periodicidade, eventuais diferenças espaciais e geração de mapa. Os eventos intensos de maior precipitação ocorreram nos meses de janeiro a maio. Os resultados indicaram a ocorrência de 30 episódios pluviométricos diários com intensidades iguais e superiores a 100mm, no período de 1979 a 2014, dentro da sub-bacia. A análise dos resultados obtidos para a bacia em estudo revelou um aumento no número de episódios intensos de precipitação, bem como a ocorrência com maior frequência e intensidade em anos de El Niño.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Precipitações Extremas, Rio Figueiredo.

Abstract

The precipitation is essential for better understanding of the natural cycle of water. The extreme natural events that more impact on human activities in our country are climate. Some cities have presented critical situations related to flood during heavy rain concentrated episodes. This study analyzed the variability of rainfall in the watershed Figueiredo focused on extreme precipitation events in the period 1979-2014. Data were used daily precipitation of 5 stations obtained from the database of the National Water Agency (ANA), being organized and treated for the determination of Time of Return, to detect the frequency and spatial differences and generation of map. The intense events greater precipitation occurred in the months of January to may. The results indicated the occurrence of 30 episodes daily rainfall intensities equal and over 100 mm in 1979 to 2014 period within the watershed. The analysis of the results obtained for the basin under study revealed increased number of intense precipitation episodes, as they only occur with greater frequency and intensity in years of El Niño.

Key-Words: Watershed, Extreme Rainfall, Figueiredo River

Introdução

A variabilidade interanual acentuada da precipitação é uma característica marcante do Nordeste, possuindo este uma irregularidade espacial e temporal. Uma das variáveis climáticas que mais influenciam no meio é a precipitação pluvial, sendo considerado um importante fator do ciclo hidrológico por ser uma variável de entrada de água em uma bacia hidrográfica.

As condições climáticas, litológicas e cobertura vegetal influenciam diretamente no processo, intensidade e na forma da drenagem de uma bacia hidrográfica; assim como os rios constituem um dos agentes importantes no transporte dos materiais ao longo da bacia.

A precipitação é o único fenômeno gerador de enchentes e inundações, provocada por condições meteorológicas que não podem ser controladas, pois são aleatórias no tempo e espaço. Pinheiro (2007) explica que em longo prazo a ocorrência e magnitude das precipitações podem ser estimadas em função dos dados históricos e das alterações que ocorrem nas formas de uso da terra da bacia hidrográfica, mas que não podem ser previstas.

As inundações das áreas de várzeas constituem um fenômeno natural. Ocorrem de vários tipos e seus impactos sobre o meio e a sociedade são também variáveis, podendo ser elas recorrentes ou em estações mais chuvosas ou não tão regulares. As inundações ocorrem anualmente em muitos rios por todo o mundo, estas resultam de vários fenômenos físicos que se juntam, ocasionando riscos de perdas e conseqüências às populações e ao meio, em escala local ou em vastos territórios (VEYRET E RICHEMOND, 2007).

Os eventos naturais extremos que mais repercutem nas atividades humanas no nosso país são de natureza climática. Algumas cidades brasileiras têm apresentado, frequentemente, situações críticas relacionadas à drenagem de águas superficiais durante a ocorrência de episódios pluviais concentrados, ao mesmo tempo em que as áreas das planícies de inundação dos rios vêm sendo ocupadas irregularmente, fato esse que torna mais problemática a ocorrência das inundações para a população dessas áreas.

Este estudo tem por objetivo fazer uma análise da variabilidade das chuvas na sub-bacia do Rio Figueiredo, com foco nos eventos extremos de precipitação, no período 1979-2014, visando contribuir, através do conhecimento da variabilidade pluviométrica com melhor planejamento urbano, para a proteção do meio ambiente e prevenção dos desastres naturais.

Caracterização da bacia hidrográfica em estudo

A sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo é um dos principais afluentes da margem direita do Rio Jaguaribe em seu médio curso, localizada na porção Leste do Estado do Ceará (FIGURA 1). Tendo sua nascente na Serra do Pereiro, o rio percorre 91.83 km da nascente à sua foz, desaguando no Rio Jaguaribe, na localidade de Barra do Figueiredo, município de São João do Jaguaribe, drenando uma área de aproximadamente 2.320 Km², delimitada pelas coordenadas 5°20'00" e 6°20'00" S e 38°00'00" e 38°40'00" W (SOUSA, 2012).

A dinâmica hidrológica do semiárido brasileiro está relacionada à circulação atmosférica do Nordeste. Nas regiões semiáridas, onde o regime de chuvas é caracterizado pela irregularidade espacial e temporal da chuva e por eventos de curta duração e alta intensidade, concentrada quase todo o seu volume durante cinco a seis meses. As diferenças climáticas (umidade, precipitação, temperatura) e a estrutura geológica irão caracterizar os variados padrões de drenagem e configuração do relevo.

Materiais e Métodos

A precipitação é entendida como qualquer forma de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, nas várias formas do estado em que a água se encontra, como por exemplo, neve, granizo, chuva, orvalho e geada. Devido a sua capacidade de gerar escoamento, a chuva constitui a forma de precipitação de maior interesse para as pesquisas (PAZ, 2004).

Os fenômenos naturais hidrológicos estão relacionados, em sua maioria, aos eventos intensos de precipitação, que provocam na sociedade inúmeros problemas e repercutem, muitas das vezes, negativamente na vida das populações. Os episódios pluviométricos concentrados são, na maioria das vezes, caracterizados como eventos naturais extremos, os quais, dependendo de sua magnitude e extensão espacial, é um dos principais geradores dos riscos de inundação (BRANDÃO, 2001 apud ZANELLA, 2007).

As inundações que ocorrem nas áreas ribeirinhas são também causadas pela variabilidade temporal e espacial das precipitações e do escoamento na bacia hidrográfica (TUCCI, 2008), que podem ser classificadas em função de sua magnitude e evolução, caracterizadas pela irregularidade de ocorrência.

Nas últimas décadas os fenômenos e desastres naturais têm se tornado cada vez mais presente no cotidiano das populações, tendo um aumento não apenas na frequência e intensidade, mas também nos impactos gerados cada vez mais intensos (CEPED, 2013). As causas do aumento na frequência e na intensidade dos desastres naturais podem ser múltiplas; sendo que para os espaços urbanos o crescimento populacional e a ocupação de áreas de risco caracterizam um dos principais fatores geradores de risco.

Devido à gravidade desses impactos, estuda-se e discute-se sobre a antecipação desses acontecimentos por meio de planejamentos preventivos e eficazes na intenção de minimizar as consequências dessas chuvas fortes, que demandam uma abordagem multidimensional. A variabilidade da chuva que ocorre no Nordeste do Brasil está ligada a fenômenos atmosféricos, nos quais as chuvas intensas têm sido relacionadas à ocorrência dos eventos do El Niño e da ZCIT, para citar os principais.

Gonçalves (2011) destaca que embora sejam fenômenos de ordem natural e meteorológicos, os fenômenos pluviais extremos, sejam eles negativos ou positivos (secas ou enchentes), quando associados à ação humana ao longo do tempo, provocam grande impacto ao ambiente e na vida socioeconômica de um país.

As condições de pluviometria na bacia do Figueiredo foram analisadas a partir dos dados das séries históricas, disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME em estações pluviométricas. Os dados foram tabulados em planilhas para a geração de tabelas, hidrogramas pluviométricos e gráficos que apresentam dados diários, mensais e anuais de precipitação de 5 postos pluviométricos, distribuídos ao longo da bacia de drenagem.

O critério de escolha pelos postos pluviométricos se deu por estes se localizarem nas sedes municipais e apresentarem maior tempo de registros dos dados, possibilitando a análise do regime de precipitações do período de 1979 a 2014 nos postos de Pereiro, Iracema e Alto Santo - (35 anos), e de 1989 a 2014 nos postos de Ererê e Potiretama - (25 anos).

Os episódios analisados e considerados como eventos pluviométricos intensos foram os de intensidades iguais e superiores a 100mm, ocorridos em 24 horas dentro da bacia. Esse valor foi considerado intenso, sendo o critério base para todas as estações e para o período de estudo analisado. Além disso, os dados pluviométricos e fluviométricos localizados na bacia do Rio Figueiredo têm série histórica iniciada na década de 1974. Nessa perspectiva, o monitoramento das chuvas é imprescindível para fins de planejamento e ocupação do espaço rural e urbano.

Foram analisados, além dos dados de precipitação, os dados de vazão e cota máxima do rio em estudo no período de 1999 a 2014 (15 anos). No entanto, apesar da coleta dos dados ser recente, não foi possível fazer a correlação com os dados de pluviometria, a qual auxilia na compreensão e avaliação como valores que representam o tamanho de um evento de precipitação em uma área. Estes dados são coletados na estação fluviométrica localizada na Rodovia Federal BR 116, no baixo curso do rio, município de Alto Santo. E obtidos junto ao sítio da Agência Nacional de Água – ANA, pelo sistema do Hidroweb.

O tratamento estatístico consistiu em cálculos de média aritmética simples, que não considera a localização geográfica dos postos na bacia, sendo que a precipitação registrada no posto X tem a mesma importância da registrada em Y; e do cálculo do período de retorno para analisar a distribuição e variabilidade espacial das chuvas.

A precipitação média em uma bacia é considerada como a lâmina de água, de altura uniforme, sobre toda a sua área drenada, associada a um período de tempo que pode ser um dia, um mês ou anos, consistindo apenas em obter a precipitação média a partir da média das precipitações nos postos selecionados.

Tempo de retorno (Tr) ou recorrência é definido como o intervalo médio de anos com que um evento hidrológico pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez. Pelo fato de não se conhecer a probabilidade teórica, pode-se estimá-la a partir da frequência observada desse evento, tendo a seguinte forma: $TR = 1/P$, onde P é a probabilidade e Tr é o tempo de retorno em anos, que é o inverso da probabilidade, já que $P=F$, onde F é a frequência do número de vezes de ocorrência de um determinado evento (TUCCI, 1997; VILLELA e MATTOS, 1975).

A probabilidade de ocorrência será estimada a partir da frequência (F), na fórmula $P = F = fn / \Delta t$, onde fn = número que um evento é igualado ou superado e Δt = ao intervalo de tempo. Para um período de retorno T expõe-se, todo ano, uma probabilidade $1/T$. O Tr foi calculado em períodos de 5, 7 e 35 anos para também avaliar as frequências, utilizando os dados temporais parciais de precipitações intensas em 24hs, registradas dentro do período de 1979-2014. Esses tipos de cálculos são importantes para o planejamento de áreas sujeitas a riscos de inundação e para o estudo de previsão destes eventos.

Para o mapa de pluviosidade foram coletados dados com os totais de chuvas mensais no intervalo temporal de 35 anos (1979 – 2014) nos municípios de Pereiro, Ererê, Iracema, Alto Santo e Potiretama, totalizando 5 postos pluviométricos bem distribuídos espacialmente na sub-bacia do Rio Figueiredo. Em seguida foi criado um banco de dados associado a um modelo vetorial shapefile do tipo ponto, sendo os mesmos interpolados, usando o método Inverso do Quadrado da Distância (IDW). O mapa de pluviosidade consiste em um modelo de representação matricial de densidade do atributo pluviosidade no software QGis 2.8.4.

Resultados

A complexidade do clima que caracteriza a área de estudo provoca a irregularidade das chuvas, favorecendo a ocorrência de eventos extremos de precipitação intensa seguidos de períodos longos de seca, que podem causar enchentes ou inundação. Marcada pela irregularidade da distribuição espaçotemporal das chuvas, a evaporação média anual obtida, com base no posto de Morada Nova, atinge 2.235mm, sendo a máxima em setembro (estação seca) com 305mm e o mínimo de 105mm em abril (estação chuvosa), exibindo a região algumas das características típicas do Nordeste semiárido brasileiro (CEARÁ, 2003).

Nascimento (2012) pontua as depressões sertanejas periféricas e vertentes a sotavento dos maciços residuais como alguns dos locais onde a escassez pluviométrica variam entre 400 e 800mm. Neste interim, é possível afirmar que a área drenada pelo Rio Figueiredo exibe características similares às demais regiões semiáridas, apresentando uma média histórica anual de precipitações variando entre 585 e 980mm entre os postos observados.

Segundo a revista sobre a classificação das chuvas da FUNCEME (Ceará, 2008), os fatores que provocam a variação anual das chuvas estão ligados à influência do El Niño com o Dipolo positivo do Atlântico, fatores esses que ocasionam anos de seca ou de chuvas abaixo da média. Para anos chuvosos, ou acima da média, ocorre o inverso do El Niño, pelo fato de estarem relacionados à ocorrência do fenômeno La Niña, associado ao Dipolo negativo do Atlântico, que propicia condições favoráveis à ocorrência de muita chuva.

Uma pesquisa realizada por Monteiro (2011) estabeleceu os quantis das oito Regiões Pluviométricas Homogêneas – RPH do Estado do Ceará para a detecção de anos normais e extremos para a chuva nos 30 anos da série histórica (1980-2009). Para a região Jaguaribana o valor mediano anual foi de 759,6mm (Q(0,50)), para anos de chuvas normais, os demais valores podem ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Valores anuais estabelecidos para a Região Jaguaribana.

| 15% | 35% | 50% | 65% | 85% |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| <----- | <-----> | <-----> | <-----> | -----> |
| MUITO SECO | SECO | NORMAL | CHUVOSO | MUITO CHUVOSO |
| 759,6mm | | | | |
| 475,5mm | 644,1mm | 949,3mm | 1147,4mm | |
| Q(0,15) | Q(0,35) | Q(0,65) | Q(0,85) | |

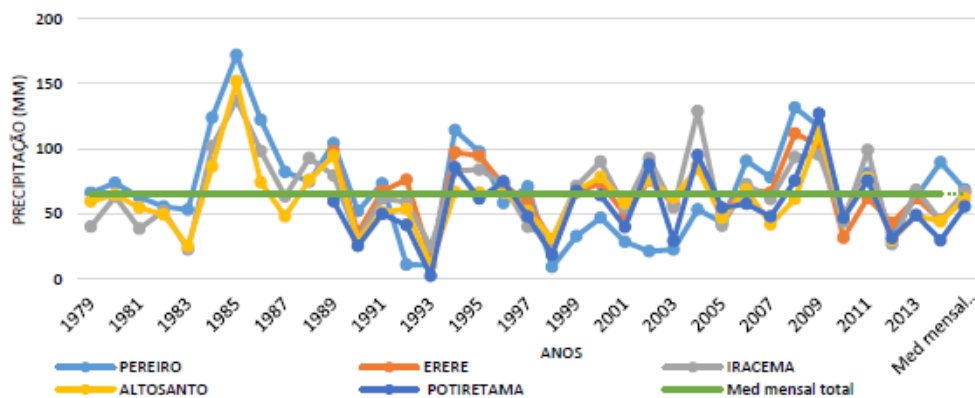
Onde:

| | | | | |
|---------------------------|----------|---|----------|--|
| Muito Seco (MS) | = | $X_i \leq Q(0,15)$ | → | $X_i \leq 475,5mm$ |
| Seco (S) | = | $Q(0,15) < X_i \leq Q(0,35)$ | → | $475,5mm < X_i \leq 644,1mm$ |
| Normal (N) | = | $Q(0,35) < X_i < Q(0,65)$ | → | $644,1mm < X_i < 949,3mm$ |
| Chuvoso (C) | = | $Q(0,65) \leq X_i < Q(0,85)$ | → | $949,3mm \leq X_i < 1147,4mm$ |
| Muito Chuvoso (MC) | = | $X_i \geq Q(0,85)$ | → | $X_i \geq 1147,4mm$ |

Fonte: Monteiro, 2011.

A Figura 3 apresenta a série histórica das médias anuais de precipitação de cada posto pluviométrico considerado na pesquisa, e a média histórica mensal, em torno de 65,34mm. Os dados mostram os anos mais chuvosos (1984, 1985, 1986, 1989, 1994, 2004, 2008 e 2009) e os mais secos (1983, 1990, 1992, 1993, 1998, 2003, 2010, 2012 e 2014) para cada posto, contendo a distribuição temporal das chuvas e os respectivos desvios.

Figura 3 - Médias anuais dos postos de 1979-2014.



Fonte: FUNCEME, organizado pela autora, 2015.

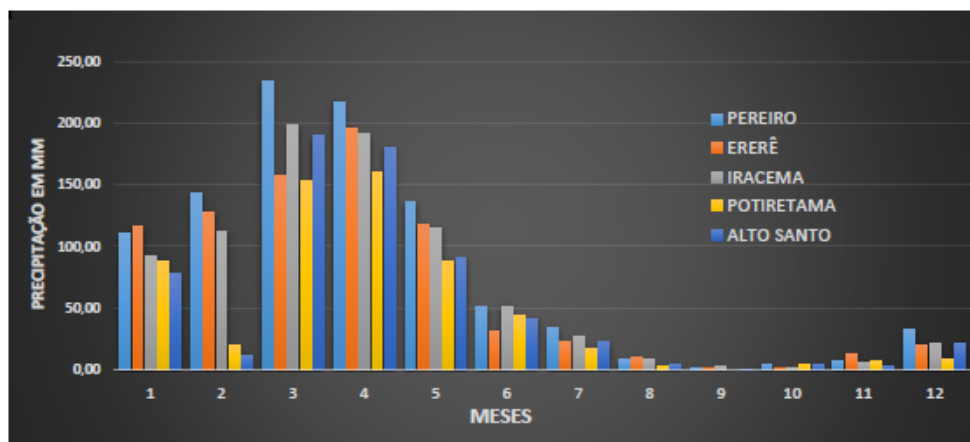
No que se refere ao período de estudo destacam-se os anos de 1985 e 2008 como os mais chuvosos pela atuação do La Niña. Os anos mais secos foram em 1993 e 1998, devido à forte atuação do El Niño. Esses dados mostram os anos de maior irregularidade.

A fim de avaliar o regime de precipitação que contempla o período de estudo, 1979 a 2014, foi realizado um cálculo de pluviometria média mensal com base na média aritmética dos totais mensais e anuais, os quais possibilitaram obter a média histórica dos postos e, conseqüentemente, a média da bacia, que é de 731,9mm.

A distribuição anual das chuvas evidencia períodos e meses mais chuvosos, caracterizando assim o período chuvoso que ocorre de janeiro a junho, e o período seco, ou com baixa precipitação, que vai de julho a dezembro. Na Figura 4 observa-se os valores médios de precipitação ao longo dos meses em cada posto pluviométrico. Percebe-se uma maior concentração de chuvas entre os meses de março, abril e maio, período de atuação da ZCIT.

O trimestre com menor precipitação compreende os meses de setembro, outubro e novembro, com médias abaixo de 1mm/mês. Para o mês de setembro observa-se as maiores taxas de evapotranspiração e menor precipitação, caracterizando-o como o mês mais seco.

Figura 4 - Média histórica mensal da precipitação por postos na Sub-bacia do Rio Figueiredo.

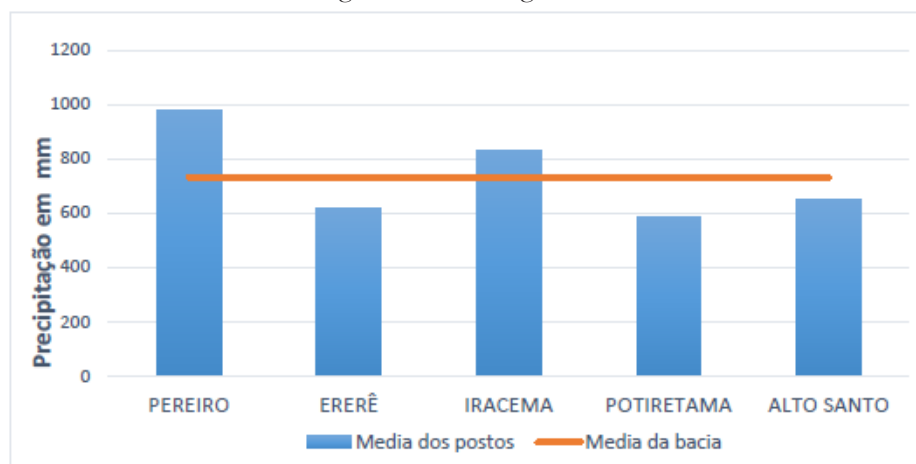


Fonte: FUNCEME, organizado pela autora, 2015.

A Figura 5 mostra as médias históricas dos cinco postos em relação à média da bacia. Observa-se que a média do posto de Pereiro (980,2mm) e do posto de Iracema (827,8mm) estão bem acima da média da bacia. Em contraposição, os demais postos (Ererê com 617,1mm, Alto Santo com 649,1mm e Potiretama com apenas 585,2mm) apresentam médias abaixo da média da bacia.

De acordo com os dados das médias pluviométricas históricas dos cinco postos analisados, no período de 1979 a 2014, observou-se que a distribuição espacial das chuvas não ocorre de maneira homogênea dentro da sub-bacia em estudo, em decorrência de características climáticas da região, da localização e da disposição do relevo, como ilustra a Figura 6. A distribuição desigual e irregular das precipitações representa bem as características do clima semiárido nordestino, resultando em pouca chuva numa determinada região e muita chuva em outras. Tais características refletem fatores regionais como a de localização da sub-bacia; o relevo tendo a altitude e a orientação das vertentes como fatores que favorece a precipitação pelo barramento de massas de ar, juntamente com as anomalias ocorrentes no Atlântico Sul como a TSM e a ZCIT, condicionam fortemente a climatologia regional e a distribuição das chuvas em cada região.

Figura 5 - Médias históricas de precipitação anual para os postos pluviométricos da Sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo entre 1979-2014.

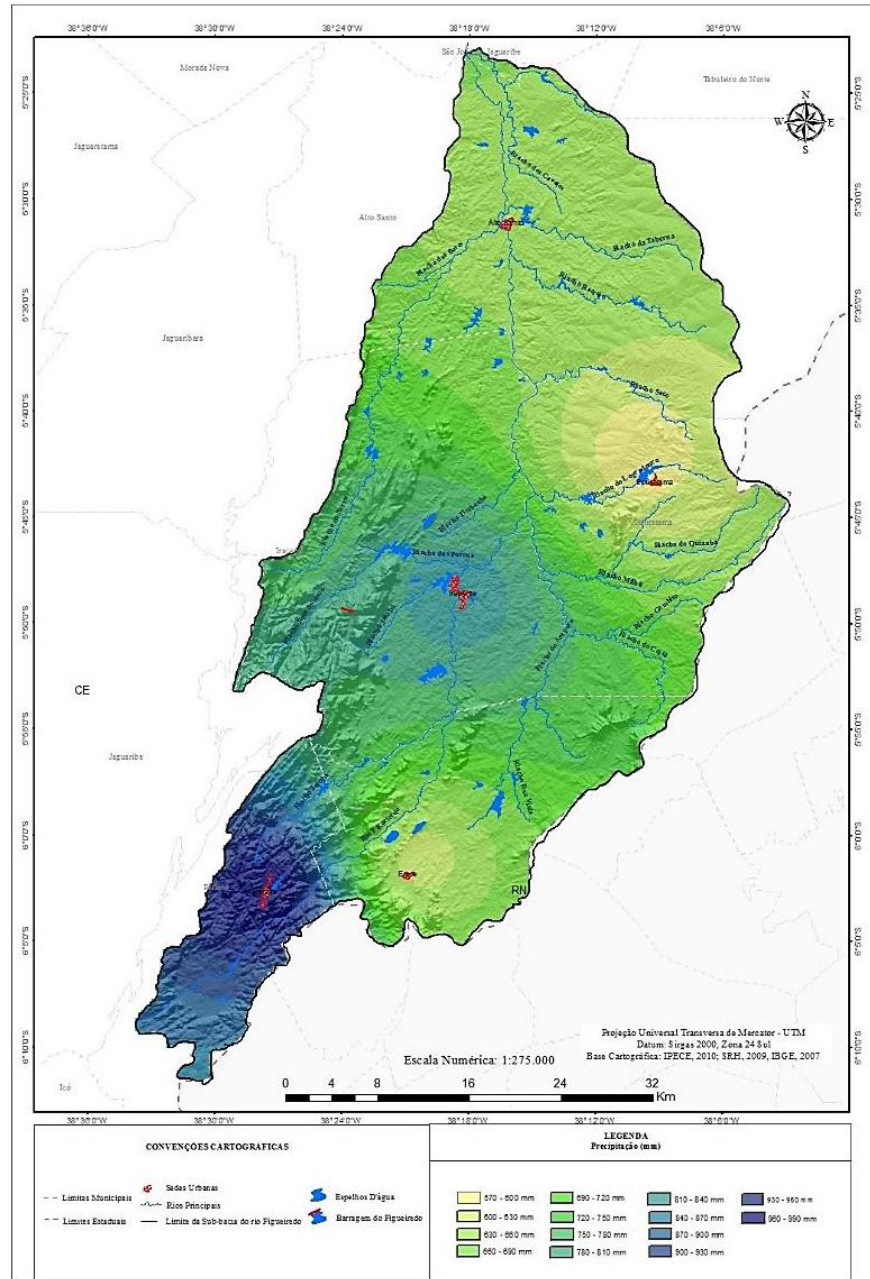


Fonte: FUNCEME, organizado pela autora, 2015.

Em anos de seca, como os de 2012 a 2015, essa distribuição irregular das chuvas torna a situação bem crítica pela falta de água, principalmente na região de Potiretama, que apresenta um histórico de baixa pluviosidade. Na Serra do Pereiro, apesar das altas médias pluviométricas, apresentam-se também sérios problemas com a falta de água, devido ao relevo e a estrutura geológica dificultarem em grande parte o armazenamento da água. Já em anos mais chuvosos a região de Iracema e Alto Santo recebem grande parte do fluxo fluviométrico, favorecendo os barramentos do canal do rio.

A indisponibilidade de água subterrânea nos períodos de estiagem pode ser explicada pela reduzida capacidade de infiltração do substrato rochoso, do rebaixamento do lençol freático e dos tipos de solos presentes na bacia, favorecendo o aumento do escoamento superficial com um rápido deflúvio que ocorre apenas no período chuvoso, aliada a elevadas taxas de evaporação sob período prolongado de incidência de radiação solar, em torno de 12hs por dia.

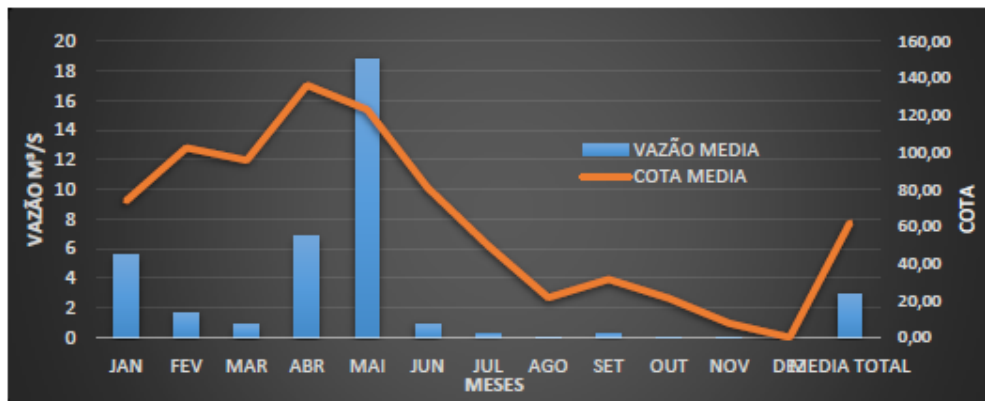
Figura 6 - Distribuição espacial das chuvas na Sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo.



Conforme a bacia apresenta solos mais ou menos permeáveis, por exemplo, solos argilosos apresentam menor permeabilidade em relação a solos arenosos, assim, a influência da questão da umidade inicial do solo, no instante em que ocorre a precipitação, refletirá se haverá maior ou menor infiltração, determinando, dessa forma, em conjunto com os fatores físicos e climáticos, a geração do escoamento superficial. Como o escoamento ocorre pela ação da gravidade, uma bacia com maiores declividades do terreno e o fato de apresentar uma rede de drenagem melhor distribuída espacialmente e mais ramificada, facilita o escoamento superficial e aumenta a vazão de pico no exutório de maior ordem da bacia.

O escoamento fluvial expresso na Figura 7 mostra a média da vazão e da cota ao longo dos anos, referente a uma seção transversal da única estação fluviométrica do rio em estudo, no baixo curso do rio, no município de Alto Santo, representando um período de apenas 15 anos de monitoramento desses dados.

Figura 7 - Vazão e cota do Rio Figueiredo de 1999-2014.



Fonte: ANA, organizado pela autora, 2015.

Embora os períodos de vazão observados na bacia em estudo sejam pequenos, os sistemas hídricos, por serem intermitentes, só apresentam escoamento fluvial no período chuvoso, que vai de janeiro a julho. Assim, com base nos dados disponíveis, foi possível obter as médias mensais de cota e vazão, que resultaram em uma média anual de $2,9136\text{m}^3/\text{s}$ para vazão e $61,95\text{cm}$ para a cota.

As médias mensais de vazão variam de $0,025\text{m}^3/\text{s}$ em dezembro a $18,77\text{m}^3/\text{s}$ em maio, um valor bem acima da média, fato provocado pelos eventos extremos nos meses de janeiro, fevereiro, abril e maio, quando ocorreram inundações decorrentes do fenômeno El Niño associado à atuação dos sistemas atmosféricos em 2009.

Em resposta aos eventos chuvosos e a vazão, os valores observados para as cotas médias mensais foi de 0 em dezembro a $136,27\text{cm}$ em abril, que também apresenta valores muito acima da média anual. Esse episódio provocou inundações e graves situações de risco às populações ribeirinhas. A partir da série histórica, para os dados de vazão destacam-se os anos de: 2000 ($191,133\text{m}^3/\text{s}$), 2002 ($304,072\text{m}^3/\text{s}$), 2007 ($249,895\text{m}^3/\text{s}$), 2009 ($1407,762\text{m}^3/\text{s}$) e 2011 ($368,046\text{m}^3/\text{s}$). Além da cota máxima registrada em 2009 com $6,90\text{cm}$.

Para a compreensão dos episódios pluviais intensos de maior precipitação foram analisados eventos em escala temporal diária de 24hs com total pluvial igual ou superior a 100mm , no período de 1979 a 2014, representando um parâmetro de chuvas intensas para qualquer bacia ou local, tendo em vista a bacia apresentar o percentual rural superior ao de urbanização e a média mensal de precipitação ser de apenas $65,34\text{mm}$ de chuvas que ocorrem aleatoriamente no tempo e espaço. A ocorrência desses eventos extremos, característicos de regiões tropicais, é mascarada pelos dados mensais e ocorre em qualquer período do ano, principalmente em anos de pluviosidade reduzida, os quais podem ocasionar inundações e riscos à população próxima ao leito do rio.

Analisando as precipitações intensas no período de 1979 a 2014, foram identificados 32 episódios iguais ou superiores a 100mm em 24hs, ocorrendo em 24 dos 35 anos analisados. Nota-se que a maioria das ocorrências se deu na quadra chuvosa e no mês de abril, que apresentou 7 eventos de chuvas intensas. Os demais eventos ocorreram em março (5 eventos), nos meses de janeiro, fevereiro, e maio (6 eventos) e no mês de dezembro com apenas 2 eventos.

Registre-se o fato de que o ano mais chuvoso da série analisada foi 1985. Este apresentou apenas um evento pluviométrico intenso, porém registrou-se a maior cheia do período. O ano de 2009 foi caracterizado pela maior quantidade de ocorrência de eventos anuais intensos de precipitação, totalizando 6 episódios, sendo 3 em janeiro, 1 em fevereiro, 1 em abril e 1 em maio.

Diversos episódios ocorreram, destes destaca-se cuja precipitação máxima foi de 173mm em 24hs, ocorrido em abril de 1982; o segundo maior foi de 160mm, em dezembro de 1988, e de 157mm, em fevereiro de 2009. Estes apresentam valores bem acima da média mensal, que é de 65,34mm.

É importante destacar que a maioria das ocorrências dos eventos pluviométricos intensos se deu em anos com precipitações consideradas abaixo da média, principalmente em associação à atuação do dipolo positivo do Atlântico em anos de El Niño, que é desfavorável às chuvas, juntamente com a atuação da ZCIT que se trata do sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas.

A análise da série histórica indica que houve a proporção de 1 evento a cada 13 meses e 2 dias, o que traz uma grande probabilidade de ocorrência de 1 evento por ano, com uma média de 117,5mm. Sendo que o maior valor precipitado foi de 173mm e o menor 101,8mm.

Observou-se que na década de 1980 ocorreram 9 eventos extremos, distribuídos regularmente ao longo da década. Já na década de 1990 ocorreram apenas 5 eventos. A partir do ano 2000 a ocorrência de eventos extremos aumentou, sendo que nos últimos 14 anos ocorreram 18 episódios, totalizando 32 eventos durante o período de 35 anos. Tal fato indica uma possível mudança na frequência dos eventos intensos de precipitação, ocasionando 21 anos de ocorrência de El Niño no período de análise.

Para entender corretamente os dados de probabilidade e tempo de retorno é importante esclarecer que se trata de uma média. Por exemplo, num intervalo de 10 anos em média, significa que um evento pode ocorrer nesse intervalo, mas isso não significa que não possa acontecer outro evento durante esses 10 anos. Ressalta-se que os eventos intensos e as inundações são fenômenos naturais de difícil previsão, e os valores calculados auxiliam na previsão da ocorrência, porém não a determina.

Os valores adotados se referem à frequência das ocorrências de eventos intensos igual ou superior a 100mm em intervalos definidos de 5 e 7 anos, para o período de 35 anos em estudo. Os resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 1 e 2 foram analisados de forma quantitativa, visando identificar o comportamento da ocorrência dos eventos no período de 1979 a 2014.

Sendo assim, para o intervalo de 7 anos, cada período apresenta uma probabilidade superior à média do intervalo (60%) em quase todos os períodos e um TR de um ano e meio a dois anos em média, portanto, possuem valores médios de ocorrência.

Tabela 1 - Tempo de retorno eventos de 100mm de precipitação para intervalo de 7 anos.

| Períodos de 7 anos | Probabilidade de Ocorrência em (%) | Tempo de Retorno (anos) | Tempos de Retorno em Anos/dias |
|---------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1979-1986 | 80% | 1,16 | 13 meses e 27 dias |
| 1979-1993 | 57% | 1,75 | 21 meses |
| 1994-2000 | 71% | 1,4 | 16 meses e 24 dias |
| 2001-2007 | 28% | 3,5 | 42 meses |
| 2008-2014 | 185% | 0,53 | 6 meses e 10 dias |
| Média do período | 60% | 1,66 | 19 meses e 27 dias |
| Média para 35 anos | 91,40% | 1,09 | 13 meses e 2 dias |

Tabela 2 - Tempo de retorno eventos de 100mm de precipitação para intervalo de 5 anos.

| Períodos de 5 anos | Probabilidade de Ocorrência em (%) | Tempo de Retorno (anos) | Tempos de Retorno em Anos/dias |
|---------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1979-1984 | 100% | 1 | 12 meses |
| 1985-1989 | 80% | 1,25 | 15 meses |
| 1990-1994 | 40% | 2,5 | 30 meses |
| 1995-1999 | 60% | 1,66 | 19 meses e 27 dias |
| 2000-2004 | 60% | 1,66 | 19 meses e 27 dias |
| 2005-2009 | 140% | 0,71 | 8 meses e 15 dias |
| 2010-2014 | 120% | 0,85 | 9 meses e 27 dias |
| Média do período | 61% | 0,61 | 7 meses e 12 dias |
| Media para 35 anos | 91,40% | 1,09 | 13 meses e 2 dias |

Para o tempo de retorno em 5 anos destacamos a probabilidade superior a 100% em alguns períodos, chegando a 140% em 1 ou mais eventos anuais, como no exemplo do período de 2005 a 2009. Este condiz com a média do intervalo, apresentando pouco mais de seis meses para a ocorrência de um evento. Ao compararmos as médias dos intervalos de 5 e 7 anos com a da série histórica de 35, nota-se que a probabilidade é bem maior com relação às médias dos intervalos, o que significa que as chances da ocorrência de um evento a cada ano chega a 91,40%. Valor que mantém relação com o aumento dos episódios de precipitação intensa nos últimos anos.

Conclusões

A análise dos resultados obtidos para a bacia em estudo revelou que houve um aumento no número de episódios intensos de precipitação, assim como os mesmos só ocorrem com maior frequência e intensidade em anos de El Niño. O aumento das precipitações intensas esta ligada as anomalias e fenômenos atmosféricos que refletem aos períodos cíclicos do clima associado a ação humana ao longo do tempo que intensifica a atuação dos episódios naturais de precipitação intensa. Em anos de El Niño tem-se pouca precipitação e uma maior ocorrência desses episódios, acentuados pela irregularidade e má distribuição das precipitações que ficam mais evidentes e causam mais impactos negativos nesse período.

O período chuvoso, de dezembro a maio, condiz com o clima e atuação dos fenômenos atmosféricos, principalmente a ZCIT, na região. Foram detectadas variações espaço-temporais das chuvas, oscilante ano após ano, dadas em função da latitude, sistemas atmosféricos e de fatores locais como a altitude.

Chuvas de alta intensidade podem ocasionar erosão severa e assoreamento dos canais, devendo-se evitar práticas como o desmatamento, que deixam o solo exposto, favorecendo ao escoamento superficial, principalmente em uma litologia cristalina que possui baixa permeabilidade, favorecendo o rápido escoamento da água da chuva.

A variabilidade sazonal da distribuição das chuvas representa um comportamento natural do clima, que exhibe oscilações periódicas dos sistemas atmosféricos, podendo resultar no aumento da frequência e intensificação dos fenômenos. Pode ainda refletir sobre áreas naturalmente susceptíveis à inundação e degradadas, gerando situações de riscos em alguns pontos ao longo do Rio Figueiredo.

Os dados mostraram a ocorrência de 30 episódios pluviométricos com intensidades iguais ou superiores a 100mm/dia, no período de 1979 a 2014, dentro da sub-bacia do Figueiredo. As irregularidades pluviométricas, derivadas dos sistemas climáticos, ocasionam, por vezes, secas, outras vezes, épocas de grandes chuvas, com máximas nas precipitações diárias, provocando cheias seguidas de inundações nos cursos fluviais intermitentes, ocasionadas pelo grande volume d'água.

A variação da quantidade e distribuição espaço-temporal das precipitações entre os postos decorre de fatores característicos de cada região, como a influência do Maciço do Pereiro nos postos de Pereiro e Ererê e da depressão sertaneja nos postos de Iracema, Potiretama e Alto Santo. A influência de fatores estruturais se refletem nas características da drenagem, tipo de solo e nas formas de uso e ocupação, que podem proporcionar maiores efeitos no escoamento superficial e magnitude dos eventos intensos de precipitação, com aumento ou diminuição da vazão, e que pode mudar o tempo de retorno de cheias de pequeno a médio tempo.

Referências Bibliográficas

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2015. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Ceará. Secretaria de Recursos Hídricos. Barragem do Figueiredo. Fase III - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto: Volume I - Estudos Hidrológicos. Relatório, 2003.
- CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Boletim climático mensal. Climalerta, Departamento de Meteorologia. 2008. Disponível em <http://www.funceme.br/>.
- CEPED, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais de 1991 a 2012. Volume: Ceará. 2 ed. Revisada e Ampliada. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia. N.1, V.1. Presidente Prudente, p. 15-27, 2005.
- GONÇALVES, N. M. S. Impactos Pluviais e Desorganização do espaço Urbano em Salvador. Monteiro & Mendonça. Clima Urbano. Contexto, 2011.
- MONTEIRO, J. B. Chover, mas chover de mansinho: desastres naturais e chuvas extremas no Estado do Ceará. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia. Fortaleza, 2011.
- NASCIMENTO, F. R. do. Os recursos hídricos e o trópico semiárido no Brasil. GEOgraphia - Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense. Vol. 14, Nº 28, 2012.
- NASCIMENTO, F. R. do. Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1, número especial, p. 81-97, 2011.
- PAZ, A. R. da. Hidrologia aplicada. Disciplina Ministrada na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, para o curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na unidade de Caxias do Sul, 2004.
- PINHEIRO, A. Enchente e Inundações. In: SANTOS R. F. dos. (org.). Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.
- SOUSA. M. L. M. de. Diagnóstico Geoambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará: Subsídios ao Planejamento Ambiental. Dissertação (Mestrado em Geografia) Mestrado Acadêmico em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. Estudos Avançados. Vol. 22 (63) USP 336 pp. 97-112, 2008.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2º ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.
- VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. O Risco, os riscos. Veyret, Yvette (Org.) - Os Riscos – o Homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.
- ZANELLA, M. E. Impactos pluviais no bairro Cajuru – Curitiba – PR. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 11, 2007.